

Государственный комитет Российской Федерации  
по высшему образованию  
Челябинский государственный технический университет

На правах рукописи

ГУЗЕЕВ Виктор Иванович

ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОНТУРНОЙ  
ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ РАЗНОЙ ТОЧНОСТИ  
НА ТОКАРНЫХ И ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Специальность 05.02.08 - "Технология машиностроения"

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Челябинск  
1994

Работа выполнена в Челябинском государственном  
техническом университете.

Научный консультант - заслуженный деятель науки и  
техники РСФСР, доктор технических  
наук, профессор Корчак С.Н.


Официальные оппоненты: заслуженный деятель науки и  
техники РСФСР, доктор технических  
наук, профессор Худобин Л.В.;  
доктор технических наук,  
профессор Митрофанов В.Г.;  
доктор технических наук,  
профессор Понзмарев В.П.

Ведущее предприятие - Центральное бюро нормативов по  
труду при Всероссийском центре  
производительности Министерства  
труда России

Защита состоится 22 ноября 1994 года, в 14 часов,  
в ауд. 502 на заседании специализированного Совета Д 053.13.05  
в Челябинском государственном техническом университете  
по адресу: 454080, Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЧГТУ.

Автореферат разослан "\_\_\_" "\_\_\_\_\_" 1994г.

Ученый секретарь специализированного совета  
доктор экономических наук, профессор  И.А. Баев

## Актуальность проблемы.

Частая смена продукции, которая характерна для предприятий с мелкосерийным и серийным производством, приводит к резкому возрастанию объема работ по технической подготовке производства (ТПП). На таких предприятиях проектируется в год от 30 тыс. до I млн. 600 тыс. деталей-операций. При этом для станков с ЧПУ требуется подробная проработка технологического процесса и разработка управляющих программ (УП). Как показывает анализ предприятий в России и за рубежом, трудоемкость проектных работ составляет на предприятиях мелкосерийного и серийного производства 50...90% всех затрат на изготовление изделия.

Для оперативной разработки управляющих программ для станков с ЧПУ в этих целях используют различные системы автоматизированного программирования (САП). Трудоемкость подготовки УП с помощью САП зависит от ориентации этих систем. Так геометрически ориентированные САП позволяют уменьшить время подготовки УП на 45 % по сравнению с "ручной" подготовкой, а технологически ориентированные САП могли бы уменьшить это время на 92 %, если бы не экспериментальный подбор режимов резания и их зачастую неоднократная коррекция. Опыт внедрения технологических процессов на станках с ЧПУ показал, что при отладке управляющих программ наладчик часто изменяет выбранные по нормативам режимы резания с целью обеспечения требуемого качества деталей. При этом, частота корректирования подачи составляет 25 %, глубины резания 15 %, частоты вращения главного привода 15 %.

По имеющимся данным трудоемкость отладки управляющих программ составляет более 30% от общей трудоемкости подготовки программы. Коррекция управляющих программ практически всегда связана с необходимостью обеспечения точности обработки.

Недостаточное качество технологической подготовки иногда не позволяет освободить оператора - станочника от участия в формообразовании детали и затрудняет организацию многостаночного обслуживания. За рабочим закреплена значительная часть функций по формированию управляющей информации. Так доля решений, принимаемых рабочим, составляет для этапов: размерной настройки технологической системы - 78,6 %; обработки заготовки - 88,7 %. Этим объясняется низкая эффективность использования станков с ЧПУ, особенно в условиях мелкосерийного производства.

При работе на универсальных станках управление точностью и производительностью обработки находится в руках рабочего-универсала, а с переходом на настроенные станки потребовались нормативные данные по связи точности обработки, глубины резания и подачи с исходной точностью заготовки на каждой операции. Эти данные не содержатся в справочниках и нормативах режимов резания. Без таких численных связей расчетно-однозначно спроектировать техпроцесс обработки с наибольшей производительностью оказывается невозможным. Пока управление качеством и производительностью обработки в серийном производстве находилось в руках рабочих-универсалов, а в массовом, при отладке техпроцессов в пусконаладочный период, был допустим экспериментальный подбор режимов и других условий обработки методом "проб и ошибок", не было нужды в четких алгоритмах проектирования техпроцессов, обеспеченных необходимыми нормативными данными. Деля станки на черновые, получистовые и чистовые по стадиям обработки, можно уточнение заготовки производить на заниженных режимах и производительности, что компенсируется одновременностью выполнения всех стадий обработки на разных станках.

В отличие от такой организации производства станки с ЧПУ и особенно многоцелевые, являясь многопереходными и многоинструментальными позволяют концентрировать много рабочих ходов разных инструментов, выполняемых в основном последовательно и обеспечивать обработку исходной заготовки до полуфабриката или даже готовой детали в соответствии с точностными возможностями конкретного станка. Назначение технологических режимов резания (числа рабочих ходов, подач и глубин резания на каждый ход) для достижения нужного качества обрабатываемой детали из той или иной заготовки производится переналадкой станка так же, как и для настроенных станков, начиная от стартовых режимов, назначенных субъективно. Естественно, что это снижает производительность этого дорогостоящего оборудования. Недостатки информационной базы по однозначному выбору числа рабочих ходов, глубин резания и подач для разной точности заготовок, деталей и оборудования, обуславливают приближенность расчета основного (технологического) времени, определяющего производительность процесса. Создание банков данных содержащих технологическую информацию адекватную условиям обработки определяет необходимость перехода от эмпирических к расчетным взаимосвязям точности заготовки с точностью обработки через варьирование режимами резания.

Учитывая высокую концентрацию операций, выполняемых на станках с ЧПУ вопросы математического и методического обоснования теории расчетно-точностного проектирования многопереходных операций на станках с ЧПУ превращают задачу в **НАУЧНУЮ ПРОБЛЕМУ**, решение которой позволило создать технологическую базу знаний для автоматизированного и автоматического проектирования технологических операций.

Данная работа выполнялась в соответствии с программой ГКНТ СССР на 1986-1990 годы в рамках решения научно-технической проблемы 0.76.01. "Разработать и внедрить систему методических и нормативных материалов, типовых решений по научной организации труда, обеспечивающих эффективное использование техники и трудовых ресурсов"; задание: 08.01.А. "Разработать и внедрить методические рекомендации по расчету норм времени на ЭВМ в едином цикле с автоматизированным проектированием технологических процессов".

Наличие значительной силовой неустойчивости из-за многофакторности процесса обработки на станках с ЧПУ и ограниченные возможности эмпирических силовых зависимостей, учитывающих узкий диапазон варьирования параметров резания, вызывает в первую очередь необходимость разработки аналитических силовых зависимостей для последующего управления режимами резания с целью обеспечения точности обработки.

**Цель работы.** Разработать теорию и методику расчета производительности обработки деталей разной точности на основе моделирования взаимосвязи режимов резания с получаемой точностью и создать на ее основе новую информационную справочную базу для расчетного проектирования операционных техпроцессов.

**Научная новизна.** Решена крупная научная проблема, имеющая межотраслевое народнохозяйственное значение, заключающаяся в установлении функциональных связей между производительностью обработки, требуемой точностью детали, погрешностями заготовки и параметрами технологической системы. Она базируется на раскрытых закономерностях изменения силовой нагрузки технологической системы при изменении геометрических параметров зоны резания и стадий обработки. Аналитические зависимости для определения сил резания, разработанные на основе фундаментальных положений теории упругости и пластичности учитывают нестационарность условий резания на

разных участках режущих кромок инструмента, фактическое состояние его геометрических параметров и степень износа.

Разработана новая методика оптимизационного определения необходимого количества стадий обработки, подачи и глубины резания для каждой из них, учитывающая поля рассеивания размеров заготовки, механических свойств обрабатываемого материала, углов заточки и износа инструмента, жесткости технологической системы. Это позволяет максимально использовать возможности технологического оборудования и обеспечивает расчетно-точностное проектирование многопереходных технологических операций, выполняемых на настроенных станках и станках с ЧПУ.

Полученные расчетные модели определяют взаимосвязь основных параметров обработки: подачи, глубины резания, геометрических параметров инструмента, физико-механических характеристик обрабатываемого материала, углов наклона обрабатываемой поверхности, погрешности заготовки, жесткость технологической системы и т.д. с получаемой точностью размеров и формы деталей, что обеспечивает расчет как проектных показателей систем адаптивного управления станками (возможные диапазоны варьирования пероменных факторов), так и диапазоны значений настроечных параметров и рабочих величин управляемых воздействий.

**Практическая ценность.** Использование новой расчетной методики позволило разработать единую технологическую справочную базу для систем автоматизированного проектирования технологических процессов, существенно повышающую эффективность их использования. Разработаны и изданы ряд справочников. Так разработаны, прошли промышленную апробацию на 30 заводах, защищены на Ученом Совете Госкомтруда СССР и изданы Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть I Нормативы времени. Часть II Нормативы режимов резания. - М.: Экономика, 1990, 437с. Для обработки деталей на настроенных станках разработаны и изданы Общемашиностроительные нормативы режимов резания. - М.: Машиностроение, 1991. 640с.

В этих нормативах впервые решена задача определения расчетно-обоснованного минимального основного времени обработки в зависимости от точности заготовки и необходимой точности обработки, которые требуют разного числа рабочих ходов инструмента на разных

подачах и глубинах резания. Для этого в нормативах рассчитаны карты для определения необходимого количества стадий обработки и их качественного содержания, глубины резания и подачи в зависимости от точности заготовок (или полуфабрикатов), точности достигаемой после каждого рабочего хода (стадии обработки), а также от ряда других технологических ограничений производительности: жесткости деталей и инструмента, точности и жесткости станков и т.д.

Таким образом, новые нормативы, кроме традиционных параметров, содержат расчетные данные по обоснованному выбору всех элементов режимов резания, входящих в формулы основного времени для различных видов станочных работ. Решение задач управления производительностью обработки в зависимости от исходного качества заготовок и достижимого качества готовых деталей являются существенным народохозяйственным вкладом в повышение производительности станочной обработки и технологического обеспечения требуемого качества деталей и машин.

В соответствии с заданием научно-технической проблемы - этап ТЭН: "Разработать базовый программно-методический комплекс автоматизации нормирования технологических процессов механообработки резанием", разработана автоматизированная система проектирования и нормирования операций, выполняемых на станках с ЧПУ, а по материалам справочников другими авторами разработана САПР операций для настроенных станков.

Результаты исследований в виде руководящих технических материалов и прикладных программ для расчета режимов резания внедрены на 12 предприятиях.

**Обсуждение работы.** Основные результаты работы доложены и обсуждены на научно-технических конференциях (НТК), совещаниях и семинарах: на НТК "Автоматизация технологического проектирования в системе повышения эффективности производства и качества продукции", Владивосток, 1979, 1982, 1990 гг; на НТК "Опыт и перспективы эффективного использования технологического оборудования с программным управлением", Ленинград, 1980, 1982, 1983гг; на НТК "Повышение качества деталей машиностроения технологическими методами", Ярославль, 1980 г; на НТК "Вопросы конструирования и эксплуатации станков с ЧПУ и промышленных роботов, перспективы их внедрения", Ереван, 1981 г; на НТК "Повышение эксплуатационной надежности и эффективности использования станков с ЧПУ", Пенза,

1982 г.; на НТК "Автоматизация программирования и организация участков станков с ЧПУ", Челябинск, 1982, 1985, 1988 гг.; на НТК "Пути повышения технологического уровня и конкурентоспособности металлорежущих станков с ЧПУ", Каунас, 1983г.; на научно-техническом семинаре "Механика и технология машиностроения", - Уральское отделение Академии наук России, Свердловск, 1990 г.; на научно-технических советах ГСНТБ "Оргприминструмент", Москва, 1987-1991 гг.; Центрального бюро нормативов по труду Госкомтруда СССР, Москва, 1985-1991 гг.

Законченная работа обсуждена и одобрена на совместном совещании кафедр "Технология машиностроения", "Станки и инструмент", "Технология металлов" Челябинского государственного технического университета.

**Публикации.** Основное содержание диссертации изложено в 30 публикациях и в 7 отчетах по НИР.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и 4 приложений, содержащих методику экспериментальных исследований, статистическую обработку экспериментов, документы о внедрении результатов исследований в производство. Работа содержит 517 страниц машинописного текста, 127 рисунков, 202 наименований литературы, 42 таблицы и приложения на 84 страницах.

#### **Основное содержание диссертации.**

Во введении обосновывается актуальность научно-технической проблемы, в краткой форме изложена научная новизна, практическая значимость работы и перечень решенных в диссертации задач.

#### **СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Анализ исследований, посвященных вопросам проектирования операций с учетом точности и производительности обработки показывает, что не решена проблема расчетного определения необходимого количества стадий уточнения заготовки с конкретными параметрами для получения заданной точности готовой детали при тех или иных условиях выполняемой операции.

Производительность обработки на станках с ЧПУ определяется машинным временем ( в балансе штучного времени высока доля основного времени - 60...80%) и регламентируется применяемыми режимами



резания и количеством рабочих ходов инструмента. Большой вклад в решение вопросов определения режимов резания с учетом точности однопроходной обработки внесли исследования Балакшина В.С., Колева К.С., Корчака С.Н., Комиссарова В.И., Атаева П.Л., Соломенцева Ю.М., Медведова Д.Д., Митрофанова В.Г., Розенберга Ю.М., Худобина Л.В. и многих других ученых, проработавших этот вопрос до уровня методик. Вместе с тем оптимизационная увязка режимов резания, глубины резания, количества стадий уточнения заготовки, жесткости технологической системы и параметров режущего инструмента практически отсутствует.

Анализируя известные способы управления точностью обработки можно отметить, что благодаря работам Балакшина В.С. и его последователей выявлены основные преимущества управления точностью обработки путем стабилизации силовой нагрузки технологической системы. При этом отмечается, что качество управления определяется адекватностью моделей сил резания фактическим условиям обработки. Эмпирические зависимости для определения сил резания имеют ограниченное применение.

Существенный вклад в создание формул для определения сил резания внесли работы Розенберга Ю.А., Розенберга А.М., Зорева Н.Н., Клушина М.И., Гостева Г.В., Силина С.С. и других ученых. В этих работах отмечается, что назрела необходимость при расчете сил резания учитывать действительные характеристики обрабатываемости материалов и переходить от эмпирических к физическим зависимостям.

Особую актуальность имеют задачи обеспечения производительности и точности контурной обработки сложнопрофильных поверхностей на станках с ЧПУ. В связи со значительной нестационарностью параметров зоны резания и многофакторностью связей решить эту задачу путем использования эмпирических зависимостей для определения сил резания не представляется возможным.

При изготовлении деталей пространственно-сложной формы трудоемкость доводочных (слесарных) операций после чистового фрезерования велика и может достигать 35% от общей трудоемкости.

Трудоемкость отладки управляющих программ, связанная с изменением режимов резания, составляет 45...50% от общей трудоемкости отладки, что говорит об отсутствии научно-обоснованных рекомендаций по назначению режимов резания с учетом точности многопереходной обработки.

В работах Косиловой А.Г., Мещерякова Р.К. введено понятие стадий обработки, однако отсутствуют связи необходимого их количества с режимами резания и возможностями технологической системы.

В связи с высокой концентрацией операций на станках с ЧПУ и целесообразностью обработки на них сложнопрофильных поверхностей встает проблема определения оптимального количества стадий обработки каждой поверхности детали и возникают вопросы обеспечения точности размеров в условиях нестационарности зоны резания.

Проведенный анализ существующих систем автоматизированного проектирования технологических процессов показал, что их эффективность мала в связи с отсутствием технологически ориентированных нормативных материалов по определению режимов резания.

Для достижения выше сформулированной цели необходимо решить комплекс задач, имеющих важное самостоятельное значение:

1. Разработать аналитические зависимости для определения сил резания в условиях нестационарных параметров зоны обработки, базирующейся на основных положениях теории упругости и пластичности.
2. Разработать аналитические модели управления производительностью и точностью обработки в том числе сложнопрофильных поверхностей.
3. Разработать методику расчетного определения количества стадий обработки и производительности многопереходной обработки.
4. Разработать нормативно-справочную базу для расчетного проектирования операционных технологических процессов.
5. Реализовать разработанные теоретические положения и новую нормативную базу в автоматизированной системе проектирования и нормирования операций для станков с ЧПУ.

#### МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИЛ РЕЗАНИЯ, УЧИТЫВАЮЩИЕ НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ.

При контурной обработке деталей на токарных и фрезерных станках с ЧПУ значительно изменяются параметры зоны обработки. Толщина срезаемого слоя зависит от положения элементарного участка режущей кромки, участвующей в резании и ее формы. Она может

изменяться в десятки раз. Ширина срезаемого слоя и угол схода стружки зависят от величин активной части главной и вспомогательной режущих кромок. Последние изменяются в 1,5...2 раза в зависимости от формы и положения обрабатываемой поверхности. При фрезеровании изменяется угол контакта и положение пятна контакта фрезы с обрабатываемой поверхностью. Особенно сильно изменяются эти параметры при токарной и фрезерной обработке (концевыми радиусными фрезами) сложнопрофильных поверхностей.

В общем случае при определении равнодействующей силы резания следует исходить из равновесия активных и реактивных сил, действующих на режущий инструмент. Реактивные силы определяются эпурой напряжений, возникающих в контактной зоне обрабатываемого металла с инструментом. Реактивные силы традиционно разделяются на составляющие: силу сдвига (от  $\tau_s$ ), действующую в направлении плоскости сдвига, силу сжатия ( в направлении нормальных напряжений ), силу трения стружки по передней поверхности и силу трения обрабатываемого материала о заднюю поверхность инструмента.

Обычно каждую из этих составляющих определяют отдельно, исходя из условий, имеющих в точке ее приложения. Так сила сдвига рассматривается обычно как образующаяся только от действия максимальных напряжений сдвига в направлении плоскости сдвига, а сила трения по задней поверхности определяется через величину нормальной силы из условия статического упругого вдавливания .

В работах С.Н. Корчака доказано, что для правильного определения составляющих силы резания большое значение имеет распределение напряжений в примыкающей к срезу области. В объемах, прилегающих к пластически деформируемой зоне, и не имеющих свободных поверхностей для перехода напряжений в пластические деформации, возникают большие напряжения гидростатического давления, являющиеся значительных пластических деформаций и постепенно переходящие в глубине металла в упругие напряжения и деформации, также уменьшающиеся с удалением от места пластической деформации.

Известно, что обрабатываемый материал в зоне резания характеризуется сложнопластическим состоянием, а сдвиг элементов металла и образование стружки являются результатом пластического течения металла в направлении наименьшего сопротивления. Сопровождаемого определенными величинами нормальных и касательных напряжений в этой зоне. Работы в области теории пластичности свиде-

тельствуют, что основные физические закономерности этой теории применимы к любому виду сложнапряженного состояния деформируемого металла. Теория больших пластических деформаций для оценки сложнапряженного состояния металла использует показатель напряженного состояния - интенсивность напряжений  $\sigma_i$ , численная величина которой зависит от нормальных и касательных напряжений и больше каждой из них, т.е. величины касательных и нормальных напряжений являются частью величины интенсивности напряжений. Таким образом, эта величина характеризует напряженное состояние во всех объемах металла, воспринимающих внешнее силовое воздействие инструмента, а не только в зоне сдвига. В связи с этим интенсивность напряжений более полно характеризует напряженное состояние во всей напряженной зоне резания и, следовательно, более правильно отражает сопротивление металла деформации резанием.

В связи с многообразием факторов процесса резания, изменяющихся на разных участках режущих кромок инструмента, при аналитическом определении силы резания целесообразно определять элементарные ее составляющие, действующие на бесконечно малых участках режущих кромок. Такой подход позволяет строить универсальную математическую модель силы резания инвариантную разным видам обработки. Значение суммарной силы резания может быть получено после интегрирования выражений для определения элементарных составляющих силы резания. Следуя логике и на основании формул С.Н. Корчака для плоского сечения равновесия активных и реактивных сил в статике в работе выведены формулы сил резания, приведенные ниже.

Суммарные составляющие силы резания, действующие на элементарных участках передней и задней поверхностей инструмента находятся из выражений:

$$dP_{xy} = \frac{1,08\sigma_i a_i db}{\sin\beta_i} \sin\xi + 0,16\sigma_i db \left[ \frac{\pi}{2} \rho + l_3 \right]; \quad (1)$$

$$dP_z = \frac{1,08\sigma_i a_i db}{\sin\beta_i} \cos\xi + 0,16\sigma_i db \left[ \frac{\pi}{2} \rho + l_3 \right] \mu. \quad (2)$$

где  $a_i$  - толщина срезаемого слоя на  $i$ -том участке режущей

кромки;  $db$  - длина элементарного участка;  $\xi$  - угол действия;  $\beta_1$  - угол наклона условной плоскости сдвига;  $\rho$  - радиус округления режущей кромки;  $l_c$  - величина фаски затупления;  $\mu$  - коэффициент трения.

Интегрируя выражения (1), (2) и суммируя силы на главной и вспомогательной режущих кромках для точения получены зависимости вида (3).

$$\begin{aligned}
 P_{xy} = & 1,08 \left[ \operatorname{tg}(\varphi - \eta) \right] \sigma_1 B_{1i} \frac{\operatorname{Sin} \xi}{\operatorname{Sin} \beta_1} dB_1 + \\
 & \frac{t \operatorname{Cos}(\varphi - \eta)}{\operatorname{Sin} \varphi} \\
 & + \operatorname{tg}(\varphi_1 - \eta) \left[ \sigma_1 [B_1 - B_{1i}] \frac{\operatorname{Sin} \xi}{\operatorname{Sin} \beta_1} dB_1 \right] + 0,16 \sigma_1 \left[ \frac{t [0,5\pi\rho + l_c] \operatorname{Cos}(\varphi - \eta)}{\operatorname{Sin}(\varphi \pm \omega)} + \right. \\
 & \left. \frac{t \operatorname{Cos}(\varphi - \eta)}{\operatorname{Sin} \varphi} + \frac{S [0,5\pi\rho + l_c] \operatorname{Sin}(\varphi \pm \omega) \operatorname{Cos}(\varphi - \eta)}{\operatorname{Sin} \varepsilon} \right], \quad (3)
 \end{aligned}$$

где  $\eta$  - угол отклонения направления схода стружки;  $\omega$  - угол наклона обрабатываемой поверхности;  $\varepsilon$  - угол при вершине резца;  $\varphi$  и  $\varphi_1$  - главный и вспомогательный углы в плане.

При фрезеровании концевыми радиусными фрезами для трехмерной обработки составляющие силы резания определяются с учетом их векторного суммирования на линейном и радиусном участках режущих кромок:

$$\begin{aligned}
 \bar{P}'_{\Sigma x} &= \bar{P}'_x^r + \bar{P}'_x^k; & \bar{P}'_{\Sigma x} &= \bar{P}'_x^r + \bar{P}'_x^k; \\
 \bar{P}'_{\Sigma y} &= \bar{P}'_y^r + \bar{P}'_y^k; & \bar{P}'_{\Sigma y} &= \bar{P}'_y^r + \bar{P}'_y^k.
 \end{aligned}$$

где  $\bar{P}'^Z$  - силы, действующие на радиусном участке фрезы;  $\bar{P}'^H$  - силы, действующие на цилиндрическом участке фрезы;  $\bar{P}'^K$  - силы, действующие на коническом участке фрезы.

С учетом интегрирования зависимости для определения сил резания имеют вид (4), (5).

$$P'_{xy} = \frac{1,08r_{\phi} S_z}{\cos\omega'_{\phi}} \sum_{i=1}^m \int_{\arctg\left(\frac{\operatorname{ctg}\alpha}{\sin Q_i}\right)}^{0,5\pi} \frac{\sigma_i \sqrt{1 - [\pm \sin\Phi_1 \sin Q_i \sin\omega t + \cos\Phi_1 \cos\omega t]^2}}{\sin\beta_1} d\Phi_1 \quad (4)$$

$$\frac{-\sin^2\Phi_1 \cos^2 Q_i}{1} \sin\beta \cos\Phi_1 d\Phi_1 + \frac{0,16r_{\phi}}{\cos\omega'_{\phi}} \sum_{i=1}^m \int_{\arctg\left(\frac{\operatorname{ctg}\alpha}{\sin Q_i}\right)}^{0,5\pi} \sigma_i [0,5\pi + 1_s] \cos\Phi_1 d\Phi_1 ;$$

$$P'_{zH} = \frac{0,54\pi S_z}{\operatorname{tg}\omega'_{\phi}} \sum_{i=1}^m \int_{Q_{iBx}}^{Q_{iBx}} \frac{\sigma_i \sin Q_i \cos\omega t dQ_i}{\sin\beta_1}$$

$$+ \frac{0,08\pi \mu}{\operatorname{tg}\omega'_{\phi}} \sum_{i=1}^m \int_{Q_{iBx}}^{Q_{iBx}} \sigma_i [0,5\pi + 1_s] dQ_i, \quad (5)$$

где  $n$  - количество зубьев, участвующих в работе;  $Q_1$  - текущий угол контакта;  $\omega_{\text{ф}}$  - угол наклона зуба фрезы. Пределы интегрирования определяются в зависимости от вида фрезеруемой поверхности: плоскость, цилиндр, конус и т.д.

При обработке сложнопрофильных поверхностей наблюдается значительное изменение составляющих силы резания в пределах одного обрабатываемого участка (рис. 1). Это требует их учета для обеспечения точности и производительности обработки.

Широкая экспериментальная проверка полученных зависимостей показала, что среднеквадратическое отклонение расчетных и эмпирических величин составляет не более 15...17% при широком диапазоне варьирования параметрами обрабатываемой детали.

Сравнительные зависимости сил  $P_x$  и  $P_y$  от угла наклона образующей обрабатываемой поверхности

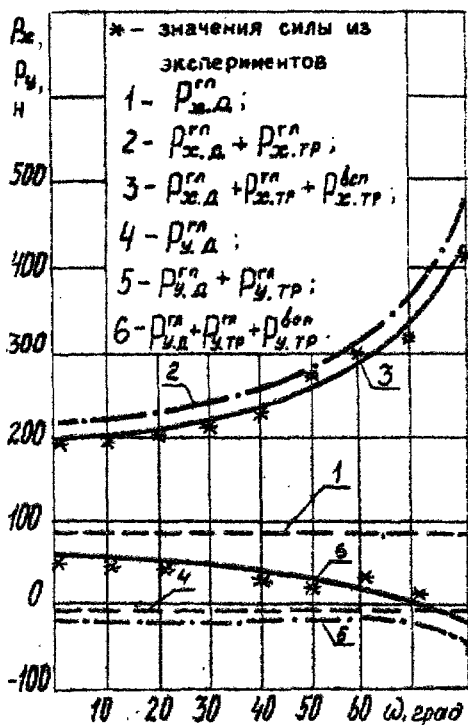


Рис. 1

#### ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПУТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТЬЮ ФОРМЫ ДЕТАЛЕЙ

Взаимосвязь величины силы резания с нестационарными параметрами зоны резания и режимами обработки создает принципиальную возможность обеспечивать производительность обработки сложнопрофильных деталей и заданную точность за счет изменения режимных параметров процесса. Для решения этой задачи разработана

методика оценки возникающих погрешностей размера динамической настройки  $\Delta_{\Phi}$  - как основного фактора, определяющего величины упругих перемещений инструмента и детали и зависимости для определения подачи, закон изменения которой адекватно отражает силовые взаимодействия инструмента, технологической системы и детали.

Для двухкоординатной токарной и фрезерной обработки (рис.2):

$$\Delta_{\Phi} = R_{\kappa} + \frac{\frac{P_y}{j_y} \frac{dY}{dX} + \frac{P_x}{j_x}}{\sqrt{1 + \left[ \frac{dY}{dX} \right]^2}}$$

$$\cdot \cos^{-1} \left[ \frac{\frac{dY}{dX} \frac{P_y}{j_y} + \frac{P_x}{j_x}}{R_{\kappa} \sqrt{1 + \left[ \frac{dY}{dX} \right]^2} + \frac{P_y}{j_y} + \frac{dY}{dX} \frac{P_x}{j_x}} \right] - R'_{\kappa} \quad (6)$$

Для трехкоординатной фрезерной обработки:

$$\Delta_{\Phi} = \left[ R_{\kappa} + \frac{\frac{dZ}{dX} \frac{P'_{\Sigma x}}{j_x} + \frac{dZ}{dY} \frac{P'_{\Sigma y}}{j_y} + \frac{P'_{\Sigma z}}{j_z}}{\sqrt{1 + \left[ \frac{dZ}{dX} \right]^2 + \left[ \frac{dZ}{dY} \right]^2}} \right] \cos^{-1} \Delta_{\gamma} - R'_{\kappa} \quad (7)$$

где  $R_{\kappa}$  - радиус кривизны обрабатываемой поверхности в рассматриваемом сечении детали,  $R'_{\kappa}$  - радиус кривизны обрабатываемой поверхности в сечении смещенном на угол  $\Delta_{\gamma}$  относительно рассматриваемого,  $\Delta_{\gamma}$  - угловая координата отклонения профиля обработки,

$\frac{dZ}{dX}$ ,  $\frac{dZ}{dY}$  - частные производные функции  $Z = \Phi(x, y)$ , описывающей обрабатываемую поверхность.



## Расчетная схема для двухкоординатной обработки

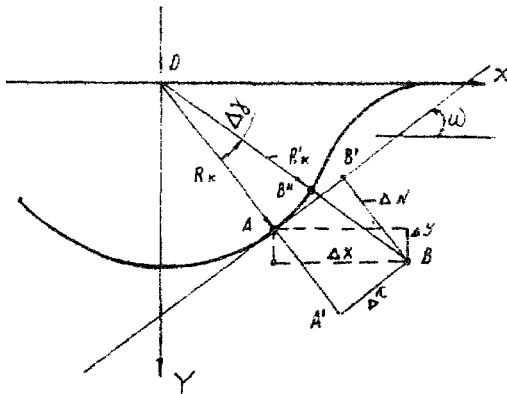


Рис. 2

Проведенные исследования показывают, что погрешности размера динамической настройки зависят от угла наклона обрабатываемой поверхности. Анализируя полученные зависимости, легко убедиться в том, что погрешности обработки  $\Delta_{\phi}$  могут принимать как положительные значения, так и отрицательные. Кроме того, имеются условия, при которых отклонения размера динамической настройки равны нулю. Очевидно, что это условие выполняется в том случае, когда числитель в выражениях (6) и (7) равен нулю. Целенаправленное поддержание таких условий обработки позволяет значительно увеличить производительность технологического перехода. Значительные изменения значений погрешностей в пределах одной сложнопрофильной поверхности не позволяет корректировать погрешности путем изменения размера статической настройки и вызывает необходимость управления упругими перемещениями для повышения точности и производительности обработки.

Наиболее рациональным методом обеспечения точности обработки поверхностей на станках с ЧПУ является обработка с закономерно изменяемой подачей, обеспечивающей стабилизацию сил резания. Для увеличения производительности обработки, закон изменения подачи должен быть таким, чтобы увеличивались отклонения динамической настройки на нелIMITирующихся участках детали, с целью обеспечения одинаковой погрешности по всему профилю. Умень-

шение абсолютного значения погрешности размера достигается, при этом, смещением размера статической настройки. Значения варьирования подачи для стабилизации составляющей силы резания в направлении размера определяется по зависимостям:

при двухкоординатной обработке

$$S = \frac{\Delta_{\Phi} K_R - R_K - C \left[ j_y \cos \varphi_1 + j_x \frac{dy}{dx} \sin \varphi_1 \right] + R'_K}{j_y K_{s1} - j_x \frac{dy}{dx} K_{s2}}, \quad (8)$$

где  $C$ ,  $K_{s1}$ ,  $K_{s2}$ ,  $K_R$  - параметры формулы для определения силы резания;  $j_x$ ,  $j_y$  - жесткость технологической системы по координатам  $X$ ,  $Y$  соответственно;

при трехкоординатной обработке

$$S_z = \frac{(\Delta_{\Phi} + R'_K - R_K) \cos \Delta_{\gamma} \sqrt{1 + \left( \frac{dZ}{dX} \right)^2 + \left( \frac{dZ}{dY} \right)^2} - j_x \frac{dZ}{dX} \left[ K_{уд}^{\Pi} \pm K_{зд}^{\Pi} \operatorname{tg} \alpha_i + K_{уд}^{\Gamma} \pm K_{зд}^{\Gamma} \operatorname{tg} \alpha_i \right] + j_y \frac{dZ}{dY} \left[ K_{зд}^{\Pi} \pm K_{уд}^{\Pi} \operatorname{tg} \alpha_i + K_{зд}^{\Gamma} \pm K_{уд}^{\Gamma} \operatorname{tg} \alpha_i \right] - j_z \left[ K_{xt}^{\Pi} \pm K_{xt}^{\Gamma} \right]}{j_x \frac{dZ}{dX} \left[ K_{уд}^{\Pi} \pm K_{зд}^{\Pi} \operatorname{tg} \alpha_i + K_{уд}^{\Gamma} \pm K_{зд}^{\Gamma} \operatorname{tg} \alpha_i \right] + j_y \frac{dZ}{dY} \left[ K_{зд}^{\Pi} \pm K_{уд}^{\Pi} \operatorname{tg} \alpha_i + K_{зд}^{\Gamma} \pm K_{уд}^{\Gamma} \operatorname{tg} \alpha_i \right] + j_z \left[ K_{хд}^{\Pi} \pm K_{хд}^{\Gamma} \right]}, \quad (9)$$

где  $K$  с соответствующими индексами - параметры формул для определения сил резания на линейном и радиусном участках фрезы;

Наличие таких условий обработки, при которых погрешности размера динамической настройки равны нулю предоставляет возможность

управления подачей в конечном интервале углов наклона образующей обрабатываемой поверхности с целью сохранения минимальной величины погрешности. В этом случае закон изменения подачи определяется из выражения (10):

$$S = \frac{\left[ j_y \frac{dY}{dX} \operatorname{Sin} \varphi_1 - j_x \operatorname{Cos} \varphi_1 \right] \cdot C}{j_x \left[ K \operatorname{Cos} \eta - N \operatorname{Cos} \varphi_1 \right] - j_y \frac{dY}{dX} \left[ K \operatorname{Sin} \eta - N \operatorname{Sin} \varphi_1 \right]} \quad (10)$$

Лабораторная и производственная проверка разработанных зависимостей (8), (9) и (10) показала, что обработка деталей с переменной подачей и последующим введением коррекции в размер статической настройки позволяет уменьшить погрешности размера в 2...4 раза или увеличить производительность в 1,5 раза.

#### ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МНОГОСТАДИЙНОЙ ОБРАБОТКИ

Производительность обработки значительным образом определяется количеством стадий обработки необходимых для достижения заданной точности детали из заготовок той или иной точности. В связи с известным свойством технологической системы, связанным с наследственностью погрешностей детали от погрешностей заготовки, необходимое количество стадий уточнения заготовки зависит как от свойств самой технологической системы, так и от степени разброса входных параметров заготовки и режимов ее обработки. Кроме того, в связи с тем, что процесс уменьшения погрешности заготовки зависит от поля рассеивания, а не от значений самих размеров, требуемое количество стадий обработки в основном определяется колебанием размера динамической настройки на каждой из них. При этом, сама величина размера обычно корректируется изменением статической настройки.

Линеаризация уравнения для определения погрешности, размера динамической настройки разложением в кратный ряд Тейлора позволяет его записать в виде:

$$Z = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + B_1 Y_1 + B_2 Y_2 + B_3 Y_3 + B_4 Y_4, \quad (II)$$

$$a_0 = \Phi \{ Mx_1, Mx_2, My_1, My_2, My_3, My_4 \} - \frac{dZ}{dMx_1} Mx_1 - \frac{dZ}{dMx_2} Mx_2 - \\ + \frac{dZ}{dMy_1} My_1 - \frac{dZ}{dMy_2} My_2 - \frac{dZ}{dMy_3} My_3 - \frac{dZ}{dMy_4} My_4;$$

$$a_1 = \frac{dZ}{dMx_1}; \quad a_2 = \frac{dZ}{dMx_2}; \quad B_1 = \frac{dZ}{dMy_1}; \quad B_2 = \frac{dZ}{dMy_2};$$

$$B_3 = \frac{dZ}{dMy_3}; \quad B_4 = \frac{dZ}{dMy_4}.$$

где  $X_1$  - колебание припуска на заготовке,  $X_2$  - свойства обрабатываемого материала ( $\sigma_1$ ),  $Y_1$  - износ режущего инструмента по задней поверхности,  $Y_2$  - главный угол в плане,  $Y_3$  - вспомогательный угол в плане,  $Y_4$  - жесткость технологической системы.

Значения коэффициентов уравнения (II) находятся как частные производные функции  $Z(x_1, x_2, y_1, y_2, y_3, y_4)$  после подстановки в них вместо каждого аргумента его математического ожидания. Рассматривая исходные факторы и погрешности обработки в виде случайных величин, ограниченных соответствующими полями допусков, и применяя теорему о числовых характеристиках линейной функции нескольких взаимнонезависимых случайных аргументов, дисперсия погрешности

$$Dz = a_1^2 Dx_1 + a_2^2 Dx_2 + B_1^2 Dy_1 + B_2^2 Dy_2 + B_3^2 Dy_3 + B_4^2 Dy_4. \quad (I2)$$

С учетом уравнения (I2) допустимое для данных условий обработки практически предельное поле рассеивания размеров заготовки (или размеров детали на предшествующей стадии обработки) определяется:

$$\Delta X_1 = \frac{\sqrt{(k_z \Delta Z)^2 - (k_{x2} a_2 \Delta X_2)^2 - (k_{y1} B_1 \Delta Y_1)^2 - (k_{y2} B_2 \Delta Y_2)^2 - (k_{y3} B_3 \Delta Y_3)^2 - (k_{y4} B_4 \Delta Y_4)^2}}{a_1} \quad (13)$$

Эта зависимость дает возможность определять требующиеся промежуточные допуски полуфабриката и исходной заготовки при многопереходной обработке в зависимости от требуемой точности детали, разброса физикомеханических свойств материала заготовки, геометрии и износа инструмента, жесткости технологической системы.

Для определения оптимальных значений необходимого количества стадий обработки деталей разной точности из разных заготовок разработана методика, основанная на методе динамического программирования. На рис. 3 приведена граф-схема возможных вариантов маршрута уточнений заготовки 16 качества точности до детали 10 качества.

Задача выбора оптимального количества стадий обработки и соответствующих им режимов резания сводится к дискретной задаче определения кратчайшего времени уточнений между заданными точностью детали и заготовки.

В общем виде кратчайший путь из начальной вершины в любую вершину графа определяется по рекуррентному уравнению:

$$T_{i,j} = \min_{\substack{i < n \leq N \\ j < k \leq M}} \left\{ T_{n,k} + \tau_{n,k}^{i,j} \right\} \quad (14)$$

Значения подачи на каждой стадии уточнения определяются с учетом ограничений, накладываемых параметрами станка, инструмента, заготовки и готовой детали.

## Схема выбора оптимального маршрута обработки

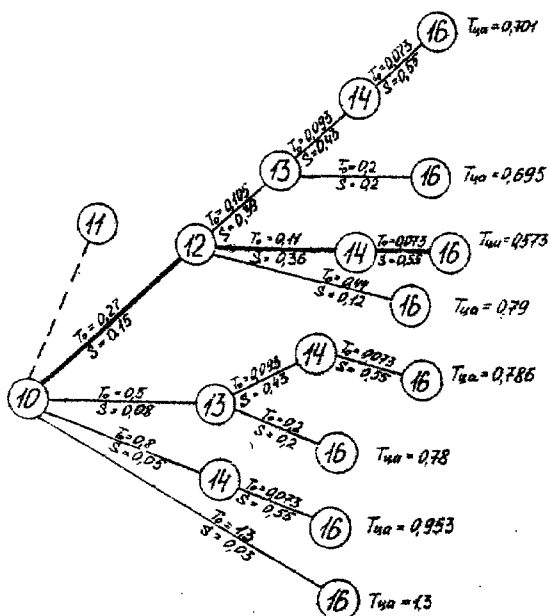


Рис. 3

За критерий оптимальности принята минимальная величина части себестоимости технологического перехода, зависящая от режимов резания:

$$G = F_c \left[ \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{n_i S_i} + \sum_{j=1}^m \frac{L_{jx}}{S_{му}} + T_{см.и} \right] + \frac{F_{и} \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{n_i S_i}}{T} \quad (15)$$

где  $F_c$  - стоимость станкоминуты,  $L_i$  - длина пути, проходимого инструментом или деталью при обработке  $i$ -го технологического участка,  $L_{jx}$  - длина пути  $j$ -го участка автоматического вспомогательного хода,  $T_{см.и}$  - время на автоматическую смену инструмента,  $F_{и}$  - затраты на инструмент,  $T$  - период стойкости инструмента.

Проведенные исследования позволили установить зависимость необходимого количества стадий уточнения заготовки от большого количества параметров: требуемого качества точности размера

детали; заданного качества точности размера заготовки; глубины резания на каждой стадии обработки; физико-механических свойств обрабатываемого материала; степени износа режущего инструмента и его геометрических параметров; жесткости технологической системы; величины подачи на каждом рабочем ходе.

При распределении припуска или напуска по стадиям обработки учтено влияние глубины резания на силовые и упругие колебания технологической системы и для их стабилизации расчетно варьируется подача. Закон изменения подачи в зависимости от глубины резания определяется стадией обработки и параметрами технологической системы.

На рис. 4, в качестве примера, приведены изменения подачи в зависимости от применяемой глубины резания для черновой стадии обработки при точении конструкционных сталей.

Зависимость подачи от глубины резания для черновой стадии обработки при точении конструкционных сталей

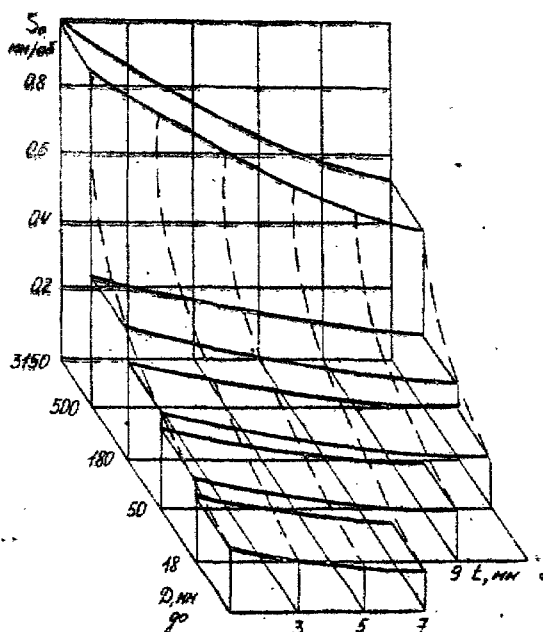


Рис. 4

Аналогичным образом получены расчетные изменения подач в зависимости от ширины фрезерования при обработке концевыми фрезами.

Широкая промышленная апробация показала, что расчетная методика определения оптимального количества стадий обработки и значений подач для каждой стадии позволяет увеличить производительность токарных и фрезерных операций, выполняемых в массовом производстве на 15...18% и в мелкосерийном и единичном производстве на 60...70%.

#### ОБЩЕМАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНАЯ БАЗА ДЛЯ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

По результатам теоретических и экспериментальных исследований, приведенных в работе в соответствии с заданием Центрального бюро нормативов по труду в рамках научно-технической проблемы 0.76.01 на 1986...1990 гг, разработан ряд новых справочников обобщемашиностроительных нормативов режимов резания и норм времени, в которых в табличном виде приведена новая нормативно-справочная база для проектирования и нормирования технологических операций.

При разработке базы были поставлены следующие задачи:

1) обеспечение расчетных точностных параметров деталей на стадии проектирования операций без субъективных решений и обеспечение однозначности при нормировании операций технологами и нормировщиками разной квалификации;

2) обеспечение наибольшего уровня автоматических решений при работе САПР станочных операций.

Для решения этих задач разработано два комплекта справочников:

- для станков с ЧПУ: Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть I Нормативы времени. Часть II Нормативы режимов резания. - М.: Экономика, 1990, 437с.

- для обработки деталей на настроенных станках: Общемашиностроительные нормативы режимов резания. - М.: Машиностроение, 1991, 640с.

На рис. 5 приведена блок-схема новой нормативно справочной базы. В настоящих нормативах впервые решена задача обеспечения



## Блок-схема разработанной нормативно-справочной базы

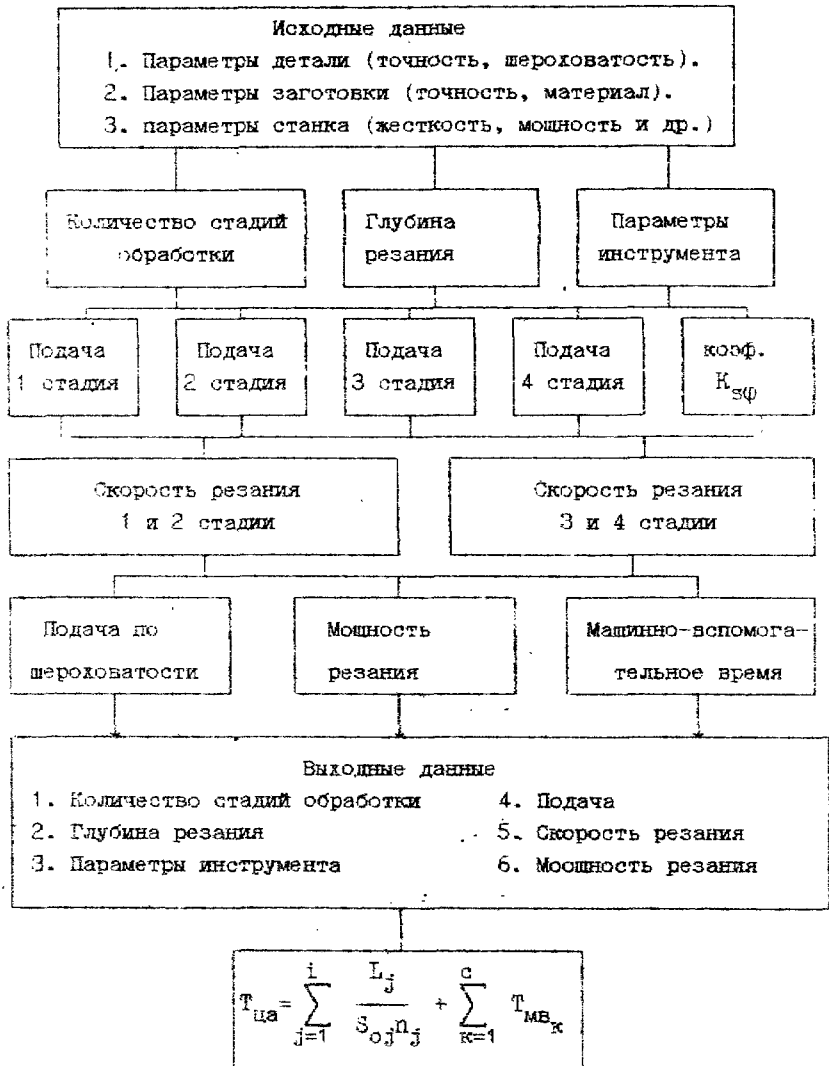


Рис.5

расчетно-обоснованного минимального оперативного времени обработ-

ки в зависимости от точности заготовки и необходимой точности обработки, которые требуют разного числа рабочих ходов инструмента на разных подачах и глубинах резания. Для этого в нормативы введены карты для определения необходимого количества стадий обработки, глубины резания и подачи в зависимости от точности заготовок (или полуфабрикатов), точности достигаемой после каждого рабочего хода (стадии обработки), а также от ряда других технологических ограничений производительности: жесткости деталей и инструмента, точности и жесткости станков и т.д.

Таким образом, настоящие нормативы содержат расчетные данные по обоснованному выбору всех элементов режимов резания, входящих в формулы основного времени для различных видов станочных работ. Решение задач управления производительностью обработки в зависимости от исходного качества заготовок и достижимого качества готовых деталей являются существенным народнохозяйственным вкладом в повышение производительности станочной обработки и технологического обеспечения требуемого качества деталей и машин.

#### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАСЧЕТА НОРМ ВРЕМЕНИ НА РАБОТУ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ НА НАСТРОЕННЫХ СТАНКАХ И СТАНКАХ С ЧПУ

При создании общемашиностроительной системы автоматизированного проектирования и нормирования операций, выполняемых на настроенных и станках с ЧПУ (САПР ЧПУ) использовались следующие основные принципы: системного единства; совместимости; типизации; развития.

Принцип системного единства обеспечивается связностью проектирования отдельных задач технологической подготовки и неразрывностью их решения. Последовательность решаемых задач отслеживает естественный ход технологической подготовки для станков с ЧПУ.

Принцип совместимости обеспечивается блочной структурой системы САПР ЧПУ, при этом имеется возможность обеспечить автономную работу каждому из блоков.

Принцип типизации реализован за счет создания типовых унифицированных частей, из которых можно формировать различные версии системы САПР ЧПУ рассчитанные на использование ее в различных подразделениях предприятий.

Система обеспечивает пополнение, совершенствование и обновление составных частей (например, введение проектирования дополнительных видов обработки, операций, переходов, режущего и измерительного инструментов и т.д.), что дает возможность совершенствовать и развивать систему.

Приоритетной особенностью системы является то, что ее методическое обеспечение разработано на базе нового банка данных — Общемашиностроительных нормативов времени и режимов резания.

Меню-ориентированная форма ввода информации в диалоговом режиме, развитая система помощи, подсказок и диагностических сообщений обеспечивает быстрое освоение системы технологами и нормировщиками, не имеющими специальной подготовки в области САПР. Система легко адаптируема (без программиста) к условиям конкретного производства благодаря открытым (для администратора системы) банкам станков, инструмента и обрабатываемых материалов. Она обеспечена сервисными программами работы с базами данных.

Система позволяет: проектировать операции и переходы токарной и фрезерной обработки (по результатам настоящих исследований), а также переходы сверления зенкерования, развертывания, зенкования, цевкования, нарезания резьбы, шлифования; с высокой степенью автоматизации (в пакетном режиме) выполняется расчет режимов резания по критериям требуемой точности, шероховатости обработанных поверхностей и минимальной себестоимости переходов.

На базе разработанных по этой же методике общемашиностроительных нормативов режимов резания (для настольных станков) создана САПР операций для универсальных и настроенных станков.

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Уравнения сил резания, полученные для условий двух и трехкоординатной контурной токарной и фрезерной обработки на основе использования закономерностей механики пластического течения металлов при резании позволили установить расчетные взаимосвязи между изменением сил резания и многими технологическими факторами: режимом резания (глубиной резания, подачей, шириной фрезерования); действительной характеристикой обрабатываемого материала ( $\sigma_1$ ); геометрическими характеристиками инструмента ( $\varphi$ ,  $\varphi_1$ ,  $\gamma$ ,  $\rho$ ,  $\omega_{\varphi}$ ,  $m$ ) и степенью его затупления ( $l_3$ ); геометрическими параметрами обрабатываемой детали ( $\omega$ ,  $R_x$ ); длиной и положением активной части режущих кромок ( $\eta$ ,  $v_1$ ,  $\phi$ ,  $\Phi_1$ ,  $Q_1$ ).

Установлено, что в зависимости от изменяющихся в процессе обработки параметров (длина активной части режущих кромок изменяется в 1,5...2 раза, угол контакта фрезы с обрабатываемой поверхностью изменяется в 1,5 раза, значительно изменяется толщина срезаемого слоя, кинематический угол в плане) при точении поверхностей с углами наклона  $\omega = +50^\circ \dots -40^\circ$  составляющая силы резания  $F_y$  изменяется в 4 раза, а осевая составляющая  $F_x$  в 200 раз; при трехкоординатной обработке концевыми радиусными фрезами поверхностей с углами наклона обрабатываемой поверхности  $\omega$  от  $+40^\circ$  до  $-40^\circ$  сила  $F_x$  изменяется в 4 раза, сила  $F_z$  в 2000 раз и сила  $F_y$  в 1000 раз.

2. Установлено, что при двух и трехкоординативной обработке значительная нестационарность силовой нагрузки на технологическую систему приводит к возникновению больших погрешностей размеров, которые могут изменяться более чем в 4 раза на разных участках обрабатываемой детали. Характер изменения погрешностей описывается математическими выражениями (6) и (7), функционально связывающими возникающие погрешности, жесткость технологической системы, силы резания и изменяющиеся параметры зоны резания. Математические модели формирования погрешностей позволяют рассчитывать точность детали и выявлять условия обработки с наименьшими погрешностями размеров и формы поверхностей при наибольшей производительности технологической операции.

3. Получены функциональные зависимости, связывающие основной параметр, определяющий производительность: подачу с требуемой точностью обработки сложнопрофильных поверхностей (8), (9), (10). Наиболее рациональным методом повышения точности обработки сложнопрофильных поверхностей на станках с ЧПУ является обработка с закономерно изменяемой подачей, обеспечивающей стабилизацию сил резания. Для увеличения производительности обработки, закон изменения подачи должен быть таким, чтобы обеспечить постоянную величину погрешности по всему профилю, а компенсация абсолютного значения этой погрешности производится смещением размера статической настройки. Значения подач для каждого участка обрабатываемой детали определяются по зависимостям (8), (9) и (10).

4. Вероятностная модель формирования погрешностей размера обработки позволяет рассчитывать промежуточные (межстадийные) пог-

режисности детали с учетом полей рассеивания основных параметров заготовки и технологической системы (ТЗ) и устанавливает взаимосвязь производительности и точности обработки с параметрами исходной заготовки (точностью размеров, физико-механическими свойствами материала), режимами обработки (подачей, глубиной резания), состоянием режущего инструмента (углами заточки, степенью затупления) и параметрами технологической системы (жесткостью).

5. Разработана методика оптимизационного определения количества стадий обработки, подачи и глубины резания по критерию минимального оперативного времени, позволяющая повысить производительность операций, выполняемых на станках с ЧПУ в 1,5 раза и при проектировании операции обеспечивает расчетное определение производительности обработки разных по точности заготовок до деталей заданной точности.

6. Разработанная нормативно-справочная база обеспечила однозначность и обоснованность выбора параметров режима резания, чем обеспечивается как ручное, так и автоматизированное расчетное проектирование технологических операций. Нормативно-справочная база реализована в виде справочников: 1) Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. М.: Экономика 1990. 473с. 2) Общемашиностроительные нормативы режимов резания. - М.: Машиностроение, 1991 - 640с.

7. Разработаны два пакета прикладных программ (САПР операций для станков с ЧПУ и САПР операций для универсальных и настроенных станков) в которых информационная база расчетной связи режимов резания с точностью заготовок и готовых деталей позволила с наибольшей степенью автоматизации проектировать операции, решая в пакетном режиме расчет режимов резания и норм штучного времени.

8. Результаты исследований прошли апробацию более чем на 30 заводах и внедрены на 11 предприятиях в виде руководящих технических материалов и систем автоматизированного проектирования и нормирования операций. В результате сроки отладки УП сократились в среднем в 1,5-2 раза. Снизилась трудоемкость обработки в среднем на 20...30%. Годовой экономический эффект составляет 2 млн. 962 тыс. рублей по ценам до 1991 года. Методические и программные разработки экспонировались на ВДНХ СССР (бронзовая медаль Выставки).

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. В.И.Гузеев Влияние режимов на неравномерность подачи при обработке на станках с ЧПУ // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки. - Челябинск: ЧПИ, 1976, №178. - С.7 - 9.

2. В.И.Гузеев, А.А.Кожин Особенности назначения режимов резания при обработке конических поверхностей на станках ЧПУ // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки. - Челябинск: ЧПИ, 1978. - С. 26 - 28.

3. В.И.Гузеев Методы повышения эффективности управляющих программ для станков с ЧПУ на стадии проектирования // Автоматизация технологического проектирования в системе повышения эффективности производства и качества продукции: Тез. докл. науч.- техн. конф. - Владивосток, 1979. - С. 30 - 32.

4. В.И.Гузеев Погрешности динамической настройки при обточке фасонных деталей на станках с ЧПУ // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки. - Челябинск: ЧПИ, 1980, №249. - С. 16 - 18.

5. С.Н.Корчак, В.И.Гузеев Повышение технологической надежности управляющих программ при обработке фасонных поверхностей на токарных станках с ЧПУ // Материалы научно техн.конф. 13-14 мая. - Ленинград, 1980, - С.25 - 29.

6. С.Н.Корчак, В.И.Гузеев Управление подачей при обработке фасонных деталей на токарных станках с ЧПУ с целью обеспечения точности // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки. - Челябинск: ЧПИ, 1980, №249. - С. 6 - 7.

7. В.И.Гузеев, А.А.Кожин Погрешность динамической настройки при обточке фасонных деталей на станках с ЧПУ // Повышение качества деталей машиностроения технологическими методами: Тез. докл. зональной науч. техн. конф. - Ярославль, 1980. - С. 49.

8. Оптимизация режимов резания при обработке деталей из сталей ВП25, IX16H4B, З5ХГСА, СП28 на станках с ЧПУ: Отчет по НИР // И ГР 78057492, инв.МБ682282. - Челябинск 1979, - 84 с.

9. Общемашиностроительные нормативы режимов резания на работы, выполняемые на металлорежущих станках с программным управлением. - М: Центральное бюро нормативов по труду при научно-исследовательском институте труда государственного комитета

СССР по труду и социальным вопросам, 1980.- 209 с.

10. С.Н.Корчак, А.А.Кошин, В.И.Гузеев Прогнозирование и управление точностью обработки фасонных поверхностей на токарных станках с ЧПУ // Вопросы конструирования и эксплуатации станков с ЧПУ и промышленных роботов, перспективы их внедрения. Тез. докл. Республик. науч. техн. конф.- Ереван, 1981. С. 26 - 28.

11. В.И.Гузеев Методы повышения эффективности управляющих программ для станков с ЧПУ на стадии проектирования / Межвузовский сб. "Автоматизация проектирования механической обработки."- Владивосток // ДВГУ, 1981, - С.106 - 113.

12. В.И.Гузеев, А.А.Кошин Назначение подачи при обработке фасонных поверхностей на токарных станках с ЧПУ // Повышение эксплуатационной надежности и эффективности использования станков с ЧПУ: Тез. докл. науч. техн. конф.- Пенза, 1982.- С. 64 - 66.

13. С.Н.Корчак, А.А.Кошин, В.И.Гузеев Расчетная адаптация режимов резания при проектировании процессов многокоординатной обработки на станках с ЧПУ // Автоматизация технологического проектирования в системе повышения эффективности производства: Тез. докл. зональной науч. техн. конф.- Владивосток, 1982.- С. 22 - 26.

14. С.Н.Корчак, В.И.Гузеев, В.А.Кувшинова Обработка фасонных поверхностей на токарных станках с ЧПУ с учетом ограничений по точности и шероховатости // Материалы семинара "Опыт и перспективы эффективного использования технологического оборудования с программным управлением."- Ленинград, 1982.

15. С.Н.Корчак, В.И.Гузеев Теоретические основы математического моделирования режимов резания для станков с ЧПУ // Автоматизация программирования и организация участков станков с ЧПУ: Тез. докл. науч. техн. конф.- Челябинск, 1982.

16. С.Н.Корчак, А.А.Кошин, В.И.Гузеев\* Определение составляющих усилия резания при обточке фасонных поверхностей на станках с ЧПУ / Межвузовский сб. Автоматизация проектирования процессов механической обработки. - Владивосток, 1982.

17. В.И.Гузеев, В.А.Кувшинова Аналитическое определение режимов обработки фасонных поверхностей на токарных станках с ЧПУ / Пути повышения технического уровня и конкурентноспособности металлорежущих станков с ЧПУ // Материалы науч. техн. конф.- Каунас, 1983.- С. 47.

18. С.Н.Корчак, В.И.Гузеев, В.А.Батуев Влияние конфигурации обрабатываемой детали на основные параметры процесса объемного фрезерования / Современные достижения в области механической обработки криволинейных поверхностей на станках с ЧПУ. - Л.; ЛДНТП, 1983. - С. 48...50.

19. В.И.Гузеев, В.А.Батуев Методы назначения и управления режимами обработки деталей сложного профиля в условиях автоматизированных технологических комплексов // Проблемы обработки деталей машиностроения на станках с ЧПУ. - М., 1983. - С. 23 - 26.

20. В.И.Гузеев, Б.В.Соколов Моделирование математического обеспечения микропроцессорных систем управления токарными станками на миниЭВМ СМ-4. // Труды межвузовской научно-методической конференции "САПР и микропроцессоры в учебном процессе. - Челябинск, 1985. - С. 40 - 43.

21. А.Д.Локтев, И.Ф.Гушин, В.И.Гузеев и др. Назначение режимов резания при точении и фрезеровании концевыми фрезами с учетом точности обработки, включая оснащение микропроцессоров. Методические рекомендации. М.: ВНИИТЭМР, 1987, - 36 с.

22. В.И.Гузеев, А.А.Орлов, А.И.Чиняев Автоматизированная диалоговая система расчетов режимов резания для токарных станков. // Информ. листок N 88-83, 1988.

23. В.И.Гузеев Методические основы разработки нормативно-справочной базы для проектирования операций, выполняемых на станках с ЧПУ // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки. - Челябинск: ЧПИ, 1988. - С. 119 - 121.

24. В.И.Гузеев Основные положения по учету точности обработки при назначении режимов резания. // Тез. докл. Всесоюзной науч.технич. конф. - Челябинск, 1988, - С. 2 - 3.

25. В.И.Гузеев Система автоматизированного проектирования операций для станков с ЧПУ. // Тез. доклада 4-й Дальневосточной науч.технич. конф. "САПР и надежность автоматизированного производства в машиностроении. - Владивосток, 1990, - С.105 - 106.

26. В.И.Гузеев Моделирование силового взаимодействия элементов технологической системы при точении фасонных поверхностей. // Тез. докл. науч.технич. семинаре "Механика и технология машиностроения". - Свердловск: Академия наук СССР, 1990.

27. Общемашиностроительные нормы режимов резания и норм времени для нормирования работ, выполняемых на универсальных и



многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть 1  
Нормативы времени: М.: Экономика, 1990, - 206с.

28. Общемашиностроительные нормативы режимов резания и норм  
времени для нормирования работ, выполняемых на универсальных и  
многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть 2  
Нормативы режимов резания: М.: Экономика, 1990, - 472с.

29. Общемашиностроительные нормативы режимов резания.: 0-28 Сп-  
равочник: В 2-х т.: Т1-М.: Машиностроение, 1991, - 640с.:ил.

30. Анализ уровня производственных режимов резания и норма-  
тивных рекомендаций для токарных автоматов и станков с ЧПУ на  
заводах Уральской зоны. Отчет по НИР // N ГР 01840019207, Че-  
лябинск, 1984, - 50с.

31. Разработка исходных данных по учету точностных парамет-  
ров в нормативах режимов резания для токарных и фрезерных стан-  
ков с ЧПУ. Отчет по НИР. Нгос. рег. 01840019208, Челябинск, 1986,  
- 97с.

32. Формализация методики определения режимов резания для то-  
карной обработки фасонных поверхностей с целью обеспечения их рас-  
четов в системе САПР. Отчет по НИР // N ГР 01840020500, Челя-  
бинск, 1983, - 61с.

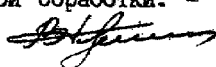
33. Гузев В.И. Повышение эффективности управляющих программ  
на стадии проектирования токарной обработки фасонных поверхно-  
стей на станках с ЧПУ. - Дис. ... канд. техн. наук. - Челябинск:  
ЧПИ, 1981. - 138с.

34. Гузев В.И., Иголевиц В.А., Сурков И.В. Общемашиностро-  
ительная система автоматизированного проектирования и нормиро-  
вания операций для станков с ЧПУ. Информ. листок N 434-93, 1993.

35. Разработка системы автоматизированного нормирования опера-  
ций, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ.  
Отчет по НИР // N ГР 01880006619, Челябинск.: ЧПИ, 1990. - 14с.

36. Разработка САПР технологических процессов на базе СМ и ЕС  
ЭВМ. Автоматизация подготовки управляющих программ для станков с  
ЧПУ. Отчет по НИР // N ГР 01860033689, Челябинск. : ЧПИ, 1985. -  
103с.

37. Гузев В.И. Методика расчетного определения количества  
стадий обработки поверхностей деталей // Прогрессивная технология  
чистовой и отделочной обработки. - Челябинск : ЧТУ, 1993 -  
С. 77-79.



Техн. редактор А.В.Миних

Издательство Челябинского  
государственного технического университета

---

ЛР№026364. 20.01.92. Подписано в печать 14.09.94. Формат бумаги  
60X84 1/16. Печать офсетная. Усл.печ.л. 1,86. Уч.-изд.л. 1,92.  
Тираж 100 экз. Заказ 199/444.

---

УОИ издательства. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И.Ленина, 76.